昆 虫 学 报 Acta Entomologica Sinica，February 2008，51(2)：161 - 165 ISSN 0454-6296

昆虫种子捕食与蒙古栎种子产量和种子大小的关系

王 学[1,2]，肖治术[2,*]，张知彬[2]，潘红春[1]

(1. 安徽师范大学生命科学学院，生物大分子进化重点实验室，安徽芜湖 241000；
2. 中国科学院动物研究所，农业虫鼠害综合治理研究国家重点实验室，北京 100101)

摘要：为了了解昆虫种子捕食者在栎类种群更新中的作用，于2006年秋季，在黑龙江省伊春市带岭区东方红林场研究了昆虫对蒙古栎 *Quercus mongolica* 在参园和东山两个种群的种子蛀食情况及其与蒙古栎种子产量和种子大小的关系。结果表明：(1) 在参园和东山两个林分内，蒙古栎种子雨动态非常相似，种子雨成分中完好种子的平均密度仅为3.2±4.1个/m^2(参园)和1.7±2.8个/m^2(东山)，分别仅占种子产量的4.0%和3.2%，而虫蛀种子和败育种子的比例均在38%以上，以虫蛀种子的比例最高，分别为58.2%和57.7%；(2) 作栎象 *Curculio arakawai* 是蛀食蒙古栎种子的主要昆虫种类，在虫蛀种子中所占比例高达96.8%(参园)和97.1%(东山)，且象甲蛀食种子中所含虫卵数与种子大小有关，即种子越大，所含象甲的虫卵数就较多。本研究的结果说明2006年蒙古栎成熟种子多遭遇虫蛀，导致完好种子的数量极低，因而可能成为限制蒙古栎种群更新的重要因素。

关键词：昆虫种子捕食；蒙古栎；种子雨；种子大小

中图分类号：Q968.1 **文献标识码**：A **文章编号**：0454-6296(2008)02-0161-05

Insect seed predation and its relationships with seed crop and seed size of *Quercus mongolica*

WANG Xue[1,2]，XIAO Zhi-Shu[2,*]，ZHANG Zhi-Bin[2]，PAN Hong-Chun[1] (1. Key Laboratory of Biotic Molecular，College of Life Sciences，Anhui Normal University，Wuhu，Anhui 241000，China；2. State Key Laboratory of Integrated Management of Pest Insects and Rodents，Institute of Zoology，Chinese Academy of Sciences，Beijing 100101，China)

Abstract：In autumn of 2006，insect seed predation and its relationship with seed crop and seed size of *Quercus mongolica* were investigated at Cenyuan and Dongshan sites in Dongfanghong Forest Farm in Dailing Region of Yichun City，Heilongjiang Province，Northeast China. The dynamics of seed rain and its composition of *Q. mongolica* were similar between the two sampled sites，though seed crops varied between both sites partly due to tree size based on diameter of breast height. For individual tree sampled，sound acorns had a very low density at both sites：3.2±4.1 nuts/m^2 (Cenyuan) and 1.7±2.8 nuts/m^2 (Dongshan)，same with the proportion of sound acorns at both sites，only 4.0% (Cenyuan) and 3.2% (Dongshan) of the total seed crops，but the proportions of both insect-infested and aborted acorns were very high，over 38% at both sites. In particular，the proportion of insect-infested acorns was up to 58.2% (Cenyuan) and 57.7% (Dongshan). Weevil *Curculio arakawai* was the key insect species infesting *Q. mongolica* acorns with up to 96.8% (Cenyuan) and 97.1% (Dongshan) of insect-infested acorns sampled. We also found that the number of weevil eggs and larvae in each weevil-infested acorn was significantly correlated with acorn size，*i.e.* larger acorns had more weevil eggs and larvae. These results indicated that seed crops of *Q. mongolica* were very poor in 2006，with most mature acorns infested by insects (especially by weevils) and fewer sound acorns available for dispersal and subsequent seedling recruitment. Thus，intense insect seed predation may be one primary limiting factor influencing population regeneration of *Q. mongolica* especially in seed-poor years.

Key words：Insect seed predation；*Quercus mongolica*；seed rain；seed size

---

基金项目：国家自然科学基金项目(30500072，30770372)；中国科学院海外创新团队项目(CXTDS2005-4)

作者简介：王学，男，1981年4月生，安徽人，硕士研究生，研究方向为动物与植物的相互作用，E-mail：dz5956@yahoo.com.cn

* 通讯作者 Author for correspondence，E-mail：xiaozs@ioz.ac.cn

收稿日期 Received：2007-08-28；接受日期 Accepted：2007-12-20

栎类 *Quercus* 因种子(俗称橡子)较大、且富含淀粉等营养物质而成为昆虫和鸟兽等动物的重要食物来源。从以往的研究来看,象甲 *Curculio* 和 *Mechoris* 是橡子的主要昆虫种子捕食者,其次为蛾类和瘿蜂等(赵养昌和陈元清,1980;陈元清,1988;于晓东等,2002;Maeto and Ozaki, 2003)。在我国,对危害栎类的果实害虫(如栗实象 *Curculio davidi*、柞栎象 *C. arakawai*、蒙栎象 *Curculio sikkimensis* 和栎实剪枝象 *Mecorhis ursulus* 等)的生活史及其防治有过许多研究(赵养昌和陈元清,1980;黄孝运和李广武,1991;王化德和李桂和,1991;于诚铭,1991),但这些害虫在栎类和其它相关植物种群更新中的作用则缺乏深入研究。近年来,对北京东灵山温带森林中昆虫对辽东栎 *Quercus liaotungensis* 种群更新的影响进行了研究(于晓东等,2001;Yu *et al*., 2003)、对都江堰亚热带常绿阔叶林中昆虫对栓皮栎 *Q. variabilis*、枹树 *Q. serrata*、青冈 *Cyclobalanopsis glauca* 和栲树 *Castanopsis fargesii* 等种类自然更新的影响也进行了一些初步观察和研究(肖治术等,2001;Xiao *et al*., 2003, 2004, 2007)。这些研究显示昆虫种子捕食对栎类等坚果植物的种群更新过程有重要影响。

蒙古栎 *Quercus mongolica*,又名柞树,是我国北方温带落叶阔叶林和针阔混交林的优势树种或重要的建群树种,国内分布于黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古、河北、山东等省区,国外主要见于俄罗斯、朝鲜和日本等地(陈铁镛和黄成就,1998)。蒙古栎耐干旱,耐瘠薄,适应性很强,在野外可放养柞蚕,在水土保持、水源涵养、木材利用和农村经济发展等方面有重要生态和社会价值。蒙古栎橡子含淀粉 47.4%,营养丰富,极易受到昆虫侵害。据报道,危害蒙古栎橡子的昆虫有蒙栎象 *C. sikkimensis*、柞栎象 *C. arakawai* 和栎实剪枝象 *M. ursulus* 等(陈元清,1988)。但这些象甲害虫对蒙古栎橡子的危害及其对蒙古栎种群更新的作用则没有相关报道。从以往的研究来看,栎类的种子产量在年间有较大的变化,种子产量的丰年一般每隔 2 至数年发生一次(Sork *et al*., 1993;Koenig *et al*., 1994;Kelly, 1994;Crawley and Long, 1995)。种子产量的大小年变化被认为是栎类等植物防御昆虫等种子捕食者的一种适应策略,即通过饱和(种子产量大年)或饥饿(种子产量小年)种子捕食者来保证其种群实现有效更新(Sork *et al*., 1993;Koenig *et al*., 1994;Crawley and Long, 1995)。据当地居民介绍,在小兴安岭地区蒙古栎的种子产量也出现大小年现象,但缺乏定量研究。本研究以小兴安岭地区的蒙古栎为研究对象,初步研究蒙古栎的种子雨和种子生产情况,以及昆虫对蒙古栎橡子的蛀食情况及其与种子产量和橡子大小的关系,从而了解昆虫种子捕食者在蒙古栎种群更新中的作用。

1 材料和方法

1.1 样地

样地设在黑龙江省伊春市带岭区东方红林场内。该林场位于黑龙江东北部、小兴安岭南坡(128°57′16″ ~ 129°17′50″E,46°50′8″ ~ 46°59′20″N),以低山地为主,多为缓坡。最高海拔 1 050 m,最低海拔 250 m。土壤为暗棕壤森林土,土壤厚度在 6 ~ 47 cm。植被主要以寒温带针叶林或针阔混交林为主。全年平均气温 1.4℃,平均最低月气温 –19.4℃,平均最高月气温 20.9℃(7 月),年 ≥ 10℃积温 2 156℃。年降水量平均为 661 mm。全年无霜期 115 天。

1.2 调查方法

在东方红林场内,选取东山和参园 2 块有蒙古栎分布的林分作为调查样地,二者相距约 5 km。东山样地的海拔约 400 m,坡向东南,坡度 15° ~ 30°,面积约为 3 hm^2,乔木层以蒙古栎为优势种,并混生红松 *Pinus koariensis*(人工种植)、黑桦 *Betula davurica*、色木槭 *Acer mono* 等;灌木层有榛子 *Colyrus heterophylla*、胡枝子 *Lespedeza bicolor* 和毛榛子 *C. mandshurica* 等;草本层以羊胡子苔草 *Carex pauciflorus* 为主。参园样地的海拔约 250 m,坡向西南,坡度 10° ~ 15°,面积约为 2 hm^2,乔木层以蒙古栎、核桃楸 *Juglans mandshurica* 和红松为主,另有少量紫椴 *Tilia amurensis*、黑桦、山杨 *Populus davidiana* 等;灌木层亦主要为榛子;草本层有山芍药 *Paeonia obovata*、毛南芥 *Arabis hirsute* 等。

2006 年 8 月中旬,在东山和参园两样地内随机选取蒙古栎样树各 30 棵(多数个体的树龄在 30 年以上),邻近样树间隔至少为 20 m。每棵样树各设置 1 个种子收集筐,面积为 0.5 m^2,种子收集筐的制作和安置标准参照肖治术等(2001)。由于人为破坏,参园仅 12 棵样树可用于统计分析。经测量,参园和东山样树的平均胸径分别为 29.3 ± 2.1 cm(n = 12)和 24.4 ± 1.1 cm(n = 30)。从 8 月 24 日至 9 月 18 日调查种子雨,每隔 1 ~ 2 天调查 1 次。调查种子收集筐时,先小心将筐内的枯枝落叶等杂物分离出去,然后对种子计数。所收集的种子带回实验室进行解

剖，并按完好、虫蛀和败育三类进行统计。同时，在种子雨下落期间从参园和东山两样地的地面随机收集成熟种子各 100 粒，并测量其重量、直径和长度，然后经解剖确认种子是否虫蛀，记录昆虫种类、卵和幼虫数以及种子受损程度。在本研究中，由于虫蛀对种子重量的影响，种子大小按体积大小来估算，即 $V = \pi \times L \times R^2/4$（V，体积；L，长度；R，直径）。

1.3　统计与数据分析

以样树为单位，种子总产量为每个收集筐内所收集种子的总和。完好率、虫蛀率和败育率分别为完好种子总数，虫蛀种子总数和败育种子总数占种子总产量的比例。非参数 Mann-Whitney test 用于分析参园和东山两样地的种子总产量、完好种子、虫蛀种子和败育种子产量之间的差异。Spearman 相关性检验用于分析东山和参园两样地内各树的完好率、虫蛀率、败育率以及种子产量之间的相关关系。另外，线性回归用于分析种子内象甲虫卵数与种子大小之间的关系。

2　结果

2.1　各类种子的比例

在参园和东山两个林分内，蒙古栎种子雨动态非常相似（图 1），且种子雨各成分的比例也非常一致，两样地之间没有显著差异（$P > 0.5$）（图 2），但参园的各种子雨成分中完好种子、虫蛀种子和败育种子的数量均高于东山（表 1）。种子雨成分中，参园和东山两个林分内完好种子的平均密度均非常低，分别为 3.2 ± 4.1 个/m^2 和 1.7 ± 2.8 个/m^2（表 1），分别仅占种子产量的 4.0% 和 3.2%；而虫蛀种子和败育种子所占比例均在 38% 以上，以虫蛀率最高，分别为 58.2% 和 57.7%（图 2）。蒙古栎种子的虫蛀率与败育率在参园和东山两样地中均呈显著负相关（分别为 $r = -0.844$ 和 $r = -0.889$，$P < 0.05$）。种子总产量仅在东山与完好种子率呈显著正相关（$r = 0.708$，$P < 0.01$）（表 2）。

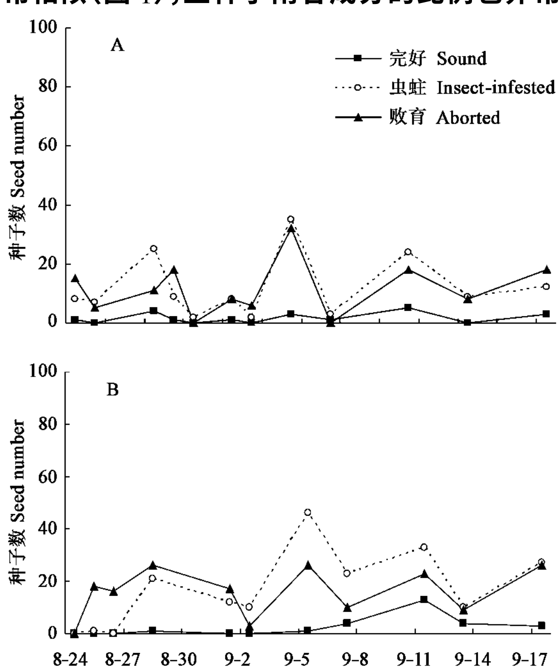


图 1　蒙古栎的种子雨

Fig. 1　Seed rain of *Quercus mongolica* at Senyuan and Dongshan
A. 参园 Cenyuan；B. 东山 Dongshan.

表 1　蒙古栎在参园和东山的种子产量比较（个/m^2）

Table 1　Seed corps of *Quercus mongolica* at Senyuan and Dongshan (Unit: No./m^2)

种子组成 Composition	参园 Cenyuan (Mean ± *SD*)	东山 Dongshan (Mean ± *SD*)	Mann-Whitney U *Z*/*P*
完好种子 Sound seeds	3.2 ± 4.1	1.7 ± 2.8	−1.239/0.215
虫蛀种子 Insect-infested seeds	36.3 ± 28.2	18.8 ± 16.1	−2.136/0.033
败育种子 Aborted seed	23.2 ± 16.5	11.7 ± 8.0	−2.178/0.029
总和 Sum	62.7 ± 44.8	32.2 ± 24.8	−2.271/0.023

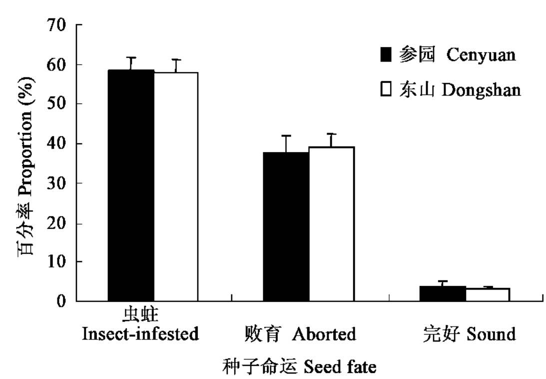


图 2　蒙古栎在参园和东山的种子命运

Fig. 2　Seed fates of *Quercus mongolica* at Cenyuan and Dongshan

2.2　象甲危害率及与种子大小的关系

通过解剖蒙古栎种子，发现蛀食蒙古栎种子的主要昆虫种类为柞栎象 *C. arakawai*，其次为一种蛾（未养出成虫），而且还发现了有少量种子被象甲和蛾同时蛀食。在虫蛀种子中，象蛀种子所占比例高达 96.8%（参园）和 97.1%（东山）（图 3）。在象蛀种子中，所含象甲的虫卵数最多可达 7 个，平均为 1.8 ± 1.2 个。回归分析表明象蛀种子所含的象甲虫卵数与种子大小有关，即种子越大，所含象甲虫卵数就较多（$F_{1,105} = 4.564$，$P = 0.035$，$r = 0.204$）（图 4）。

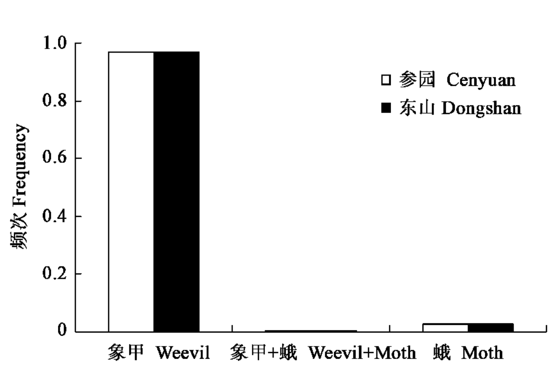


图 3 参园和东山蒙古栎虫蛀种子中不同昆虫寄生的频次分布

Fig. 3 Frequency distribution of different insect species infesting *Quercus mongolica* acorns at Cenyuan and Dongshan

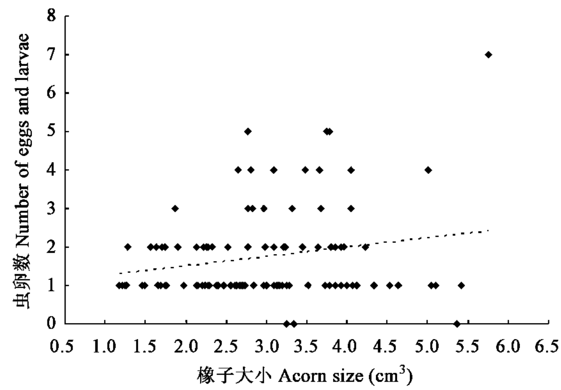


图 4 蒙古栎种子大小与象甲虫卵数的关系

Fig. 4 Relationship between the acorn size of *Quercus mongolica* and the number of weevil eggs and larvae

表 2 蒙古栎在参园和东山的种子命运相关分析(Spearman 's correlation)

Table 2 Correlation analysis of seed fates of *Quercus mongolica* between Cenyuan and Dongshan

样地 Site	组成 Composition	完好率 Sound% (r/*P*)	虫蛀率 Insect-infested% (r/*P*)	败育率 Aborted% (r/*P*)
参园 Cenyuan	种子产量 Seed crop	0.471/0.122	−0.252/0.430	−0.228/0.477
	完好率 Sound%		0.297/0.348	−0.345/0.272
	虫蛀率 Insect-infested%			−0.844/0.001
东山 Dongshan	种子产量 Seed crop	0.708/0.000	−0.179/0.343	−0.043/0.823
	完好率 Sound%		−0.241/0.200	−0.140/0.459
	虫蛀率 Insect-infested%			−0.889/0.000

3 讨论

与往年种子生产情况比较(与当地居民交流),本研究结果表明 2006 年带岭区蒙古栎种子歉收,仅有极少量完好种子存活到扩散。在各种子雨成分中,参园和东山完好种子、虫蛀种子和败育种子的产量均差异较大,其中以参园的产量较高。这可能与两样地内所选样树的个体大小有关:在参园,树胸径为(29.3 ± 2.1) cm ($n = 12$),显著大于东山的树胸径(24.4 cm ± 1.1 cm, $n = 30$) ($t = 2.311$, $df = 40$, $P = 0.026$)。

通常,昆虫对栎类橡子的蛀食率在 30% ~ 70% 之间,有时可达 100%,但依树种、林分的立地条件以及其他时间和空间差异而有显著变化(Sork *et al*., 1993;Koenig *et al*., 1994;Crawley and Long, 1995)。本研究表明在带岭区东方红林场,蒙古栎的虫蛀率在参园和东山之间没有差异,分别为 58.2% 和 57.7%,此外另有约 38% 以上为败育种子。一般情况,昆虫蛀食能显著降低种子产量和种子活力,因此昆虫种子捕食对植物种群动态有重要影响,如种子存活、扩散、定居和幼苗建成(Hulme, 1998;Crawley, 2000)。在研究地,较高的虫蛀率显然与 2006 年蒙古栎种子产量的歉收有关。国外相关研究表明:在种子产量歉收年份,栎类橡子的虫蛀率高,反之则虫蛀率低,如英国的 *Q*. *robur*(Crawley and Long, 1995)、日本的 *Q*. *crispula*(Maeto and Ozaki, 2003)和西班牙的 *Q*. *ilex*(Bonal *et al*., 2007)。在美国,Harris 等(1996)也发现山核桃 *Carya illinoensis* 的产量与山核桃象甲 *Curculio caryae* 的蛀食率之间存在类似现象。因此,栎类种子产量的大小年变化可能是应对昆虫种子捕食者等的一种防御策略,即捕食者饱和效应(predator satiation)(Sork *et al*., 1993;Koenig *et al*., 1994;Crawley and Long, 1995)。

本研究表明柞栎象 *C*. *arakawai* 是蒙古栎橡子的主要昆虫种子捕食者。这一结果与其它栎类坚果的主要害虫为象甲是一致的(于晓东等, 2001;Crawley and Long, 1995;Maeto and Ozaki, 2003;Bonal *et al*., 2007;Xiao *et al*., 2007)。回归分析表明象蛀种子的虫卵数与种子大小有关,即种子越大,所含象甲的虫卵数就较多。在都江堰亚热带常绿阔叶林,大种子的栓皮栎比小种子的青冈和枹树被象甲

所产卵的数量要多(Xiao *et al*.，2007)。这提示昆虫选择大种子有较高的适应价值。一方面，在大种子内发育的象甲幼虫可获得更多的营养，成熟后个体通常较大，从而在存活和繁殖等方面有较大的适合度(Bonal *et al*.，2007)；另一方面，多个卵或幼虫在大种子内孵化或发育比在小种子内有利于降低它们之间的竞争强度，从而保证所有或大多数个体的存活和发育完全。此外，对植物而言，大种子比小种子更能容忍昆虫的部分取食：如果部分取食没有伤害到种子的胚，那么部分受损的种子仍能萌发并长成有活力的幼苗(Bonal *et al*.，2007；Xiao *et al*.，2007)。这些机制可能同样适应于种子较大的蒙古栎，但有待于进一步深入探讨。

综上所述，昆虫捕食可能对蒙古栎种子命运有重要影响，能够降低种子产量和种子生命活力，进而影响实生苗的补充，可能是限制其种群更新的重要因素。

致谢　本研究得到了黑龙江伊春市带岭区林业实验局和东方红林场的大力支持，当地农民朋友张力夫妇在野外调查和生活上给予了许多帮助，张润志研究员协助鉴定蒙古栎的象甲种类，在此一并表示感谢。

参 考 文 献 (References)

Bonal R，Muñoz A，Díaz M，2007. Satiation of predispersal seed predators：the importance of considering both plant and seed level. *Evolutionary Ecology*，21：376－380.

Chen TY，Huang CJ，1998. Flora of China (Vol. 22). Science Press，Beijing.［陈铁镛，黄成就，1998，中国植物志(第二十二卷)，北京：科学出版社］

Chen YQ，1988. Identification of weevils from forest seeds and nuts. *Forest Pest and Disease*，1：37－41.［陈元清，1988. 林木种子果实象虫的识别和鉴定. 森林病虫通讯，1：37－41］

Crawley MJ，2000. Seed predators and plant population dynamics. In：Fenner M ed. Seeds. The Ecology of Regeneration in Plant Communities. CABI Publishing，Wallingford. 167－182.

Crawley MJ，Long CR，1995. Alternate bearing，predator satiation and seedling recruitment in *Quercus robur*. *Journal of Ecology*，83：683－696.

Harris MK，Chung CS，Jackman JA，1996. Masting and pecan interaction with insectan predehiscent nut feeders. *Environmental Entomology*，25：1 068－1 076.

Huang XY，Li GW，1991. *Curculio dentipes* Roelofs. In：Xiao GR ed. Forest Insects of China (2nd ed.). China Forestry Publishing House，Beijing. 573－575.［黄孝运，李广武，1991. 柞栎象 *Curculio dentipes* Roelofs. 见：萧刚柔主编. 中国森林昆虫(第 2 版). 北京：中国林业出版社. 573－575］

Hulme PE，1998. Post-dispersal seed predation：consequences for plant demography and evolution. *Perspectives in Plant Ecology*，*Evolution and Systematics*，1：32－46.

Kelly D，1994. The evolutionary ecology of mast seeding. *Trends in Ecology and Evolution*，9：466－470

Koenig WD，Mumme RL，Carmen WJ，1994. Acorn production by oaks in central coastal California：variation within and among years. *Ecology*，75：99－109

Maeto K，Ozaki K，2003. Prolonged diapause of specialist seed-feeders makes predator satiation unstable in masting of *Quercus crispula*. *Oecologia*，137：392－398.

Sork VL，Bramble J，Sexton O，1993. Ecology of mast-fruiting in three species of North American deciduous oaks. *Ecology*，65：1 387－1 396

Wang HD，Li GH，1991. *Cydia glandicolana* (Danil). In：Xiao GR ed. Forest Insects of China (2nd ed.). China Forestry Publishing House，Beijing. 817.［王化德，李桂和，1991. 栗黑小卷蛾 Cydia glandicolana (Danil). 见：萧刚柔 主编. 中国森林昆虫(第 2 版). 北京：中国林业出版社. 817］

Xiao ZS，Wang YS，Zhang ZB，2001. Seed bank and the factors influencing it for three Fagaceae species in Dujiangyan Region，Sichuan. *Biodiversity Science*，9 (4)：373－381.［肖治术，王玉山，张知彬，2001. 都江堰地区三种壳斗科植物的种子库及其影响因素研究. 生物多样性，9(4)：373－381］.

Xiao ZS，Zhang ZB，Wang YS，2003. The ability to discriminate weevil-infested nuts by rodents：potential effects on regeneration of nut-bearing plants. *Acta Theriologica Sinica*，23：312－320.

Xiao ZS，Zhang ZB，Wang YS，Chen JR，2004. Acorn predation and removal of *Quercus serrata* in a shrubland in Dujianyan Region，China. *Acta Zoologica Sinica*，50：535－540.

Xiao ZS，Harris M，Zhang ZB，2007. Acorn defenses to herbivory from insects：implications for the joint evolution of resistance，tolerance and escape. *Forest Ecology and Management*，238：302－308.

Yu CM，1991. *Curculio dieckmanni* (Faust). In：Xiao GR ed. Forest Insects of China (2nd ed.). China Forestry Publishing House，Beijing. 575－576.［于诚铭，1991. 榛实象 *Curculio dieckmanni* (Faust). 见：萧刚柔 主编. 中国森林昆虫(第 2 版). 北京：中国林业出版社. 575－576］.

Yu XD，Zhou HZ，Luo TH，He JJ，Zhang ZB，2001. Insect infestation and acorn fate in *Quercus liaotungensis*. *Acta Entomologica Sinica*，44(4)：518－524.［于晓东，周红章，罗天宏，何君舰，张知彬，2001. 昆虫寄生对辽东栎种子命运的影响. 昆虫学报，44(4)：518－524］

Yu XD，Zhou HZ，Luo TH，2002. Interactions of insects and oal trees and their impacts on the regeneration of oakwoods. *Biodiversity Science*，10 (2)：225－231.［于晓东，周红章，罗天宏，2002. 昆虫与栎树的相互关系及其对栎林更新的影响. 生物多样性，10(2)：225－231］

Yu XD，Zhou HZ，Luo TH，2003. Spatial and temporal variations in insect-infested acorn fall in a *Quercus liaotungensis* forest in North China. *Ecological Research*，18：155－164.

Zhao YC，Chen YQ，1980. Coleopteran，Curculionidae (1). Economic Insect Fauna of China (Vol. 20). Science Press，Beijing.［赵养昌，陈元清，1980. 中国经济昆虫志(第二十册)：鞘翅目象虫科(一). 北京：科学出版社］

(责任编辑　袁德成)